

高等学校水利学科核心课程教材

水文学原理

芮孝芳 著

 高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

高等学校水利学科核心课程教材

水文学原理

Shuiwenxue Yuanli

芮孝芳 著

 高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容简介

本书阐述迄今人们所认知的水文现象的基本规律和计算方法的基本原理,内容包括水文学的形成与发展、流域及水系、水文循环、降水、土壤水、下渗、蒸发与散发、产流机制和流域产流、地下水流、洪水波运动及洪水演算、流域汇流、冰雪水文等。

本书以作者 2008 年讲授水文学原理课程的录音为基础,以国内外主要学术文献和作者近半个世纪来所取得的科学研究成果为支撑,体现了科学性、系统性与先进性。全书概念清晰、表述严谨、语言流畅、深入浅出、富有启发性。

本书可作为水文与水资源工程专业本科生以及水文学及水资源学科研究生的教材或参考书,也可供水利工程、土木工程、农业水土工程、地理科学、地球科学、环境科学等相关专业或学科师生、科学工作者和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

水文学原理 / 芮孝芳著. --北京:高等教育出版社, 2013. 7
ISBN 978-7-04-037563-3

I. ①水… II. ①芮… III. ①水文学 - 高等学校 - 教材 IV. ①P33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 118600 号

策划编辑 周 婷 责任编辑 周 婷 封面设计 于文燕 版式设计 王 莹
插图绘制 邓 超 责任校对 窦丽娜 责任印制 毛斯璐

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
印 刷 国防工业出版社印刷厂
开 本 787 mm × 960 mm 1/16
印 张 20.25
字 数 370 千字
购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landrac.com>
<http://www.landrac.com.cn>
版 次 2013 年 7 月第 1 版
印 次 2013 年 7 月第 1 次印刷
定 价 31.70 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物 料 号 37563-00

自序

我在上大学时，就十分钦佩那些学富五车，讲课思路清晰、逻辑严密、精彩生动的老师，但对于一个教师应该怎样才能将课讲得深入浅出、引人入胜，一直到我行将离开三尺讲台的今天才算有了点肤浅体会。

教学是一个过程，有许多环节，只有把握好其中每一个环节，才能达到好的教学效果。备课是老师在准备将所积累的知识和技能，融会贯通地通过课堂传授给学生之前，必须做的梳理、提炼和升华工作，这也必然会融入教师讲课经验的总结和对教训的反省。备课越充分、越好，在课堂上讲课就越得心应手。课堂是教学的主战场，作为教师，要充分利用这个阵地系统地对知识或技能进行“传道、授业、解惑”，要善于采用学生易于接受的思维方式进行启发式的讲课，层次分明，条理清晰，巧用 PPT 和板书，让听者有亲切之感，有兴趣听你讲课，乐于记录下你的讲课内容。作为学生要通过倾听老师讲课获取系统知识或技能，如果学生说：“老师，听你的讲课是一种享受。听完你的讲课，我记下了一本厚厚的听课笔记，它是一本难得的书，值得回味。”那你的讲课就算基本成功了！师生之间因此也会结下一份特殊的情谊。这样，当你站在讲台上时，你怎能不感到教师的责任重于泰山！怎能不充满激情甘愿为人民的教育事业贡献毕生精力！怎能不体会到教师职业的崇高！

我十分赞同课堂教学是师生之间学问和思想交流的重要平台这个观点。这个平台的作用主要通过老师的精心讲课来体现。记得许多京剧演员在谈到自己成功的经验时都会说出这样一句话：“台上一分钟，台下十年功。”这就是说，一个演员要在舞台上表演得精彩，就必须在平时苦练过硬本领。用这句话来说明一个教师如何才能讲好课，也不无道理。这就要求教师应具备丰富的学识和阅历，要“读万卷书，行万里路”。不仅对自己所教的课程要尽可能透彻地掌握，对其精髓、历史、现状和未来要有深入的了解，要知其然，更要知其所以然，而且还必须深刻了解专业和学科的全貌、内涵及其在经济社会发展中的地位和作用。教师还应具有“以教学传授知识，以科研创新知识”的全面本领。出色的教学工作必然有出色的科研成就来支撑。若老师对学术、学问和创新缺乏追求，那就很难激发学生对科学的热爱和对创新的兴趣。

由此，我产生了写一部以课堂教学为背景，以科学研究成果为支撑，比较适合大学生、研究生学习规律的《水文学原理》的想法。本书的雏形是我在 2008 年秋季为河海大学水文与水资源工程专业 2006 级学生讲授水文学原理课

程的全程录音。刘方贵博士发起了这次全程录音，刘宁宁博士和陈丽霞、罗静两位硕士也为此付出了许多心血。在将录音转变为文字记录稿的过程中，刘宁宁、张小娜、张超、朱君君四位博士和梁霄、凌哲两位硕士夜以继日，付出了辛勤的汗水。本书的打印和绘图，以及一次次修改，主要由刘宁宁博士完成。这些年轻学子对我事业的支持，以及所表现出来的踏实忘我的工作精神和认真的工作态度，令我感激，令我难忘！在此，我对他们为本书出版所做的贡献表示由衷的谢意。

河海大学是我的母校，也是我毕生从事教学和科学研究的地方，每每想到培养之恩、成才之恩，我由衷地感谢河海大学这所中国水利名校。人虽老但心未老，对三尺讲台的眷恋，对“黑板加粉笔”的怀念，对充满求知欲望的青年学生的热爱，是我心中永远抹不去的情结。这本根据讲课录音整理而写成的《水文学原理》，是我对母校培养之恩的答谢，是我对华东水利学院（河海大学在1952—1985年间曾用名）成立60周年的纪念，是我向即将于2015年来临的母校百年生日的献礼，也是我献给我深爱的水文科学事业，以及关心帮助过我的同事、学生和朋友们的一份心意。

本书从整理讲课录音入手到今天付梓出版，历时近4年，其中大的修改达5次之多，小修小改超过百次。尽管如此，疏漏甚至错误仍在所难免。我深感写一本合格的大学教材不易，写一本优秀的大学教材更不易。我自知本书与合格的大学教材仍有距离，距离优秀的大学教材更是十分遥远。恳望使用本书的海内外专家学者，大专院校学生和硕、博士研究生批评指正，以便不断完善与提升教材水平。

无论如何，本书的出版总算实现了我在有生之年写一部比较适合大学生、研究生学习规律的《水文学原理》的心愿。

清华大学杨大文教授在百忙之中抽空认真审阅了全书，提出了宝贵意见。他对本书的好评令我受之有愧。谢谢杨教授，你的美言将是我日后进一步探索水文科学真谛的动力。

半个世纪的学术追求和默默耕耘，没有家人的理解、支持、帮助和奉献是难以想象的。借本书出版的机会，特向与我相濡以沫、艰苦奋斗、同舟共济的夫人蒋国兰女士致以崇高的敬意！

尚孝芳

2012年9月10日

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任；构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人进行严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话 (010)58581897 58582371 58581879

反盗版举报传真 (010)82086060

反盗版举报邮箱 dd@hep.com.cn

通信地址 北京市西城区德外大街4号 高等教育出版社法务部

邮政编码 100120

目 录

第一章 绪论	1
第一节 水文学的定义	1
第二节 水文学的分支学科	2
第三节 学习方法的建议	5
第二章 流域及水系	7
第一节 基本概念	7
第二节 水系地貌特征	13
第三节 流域地貌特征	21
第四节 数字高程模型及流域特征的提取	28
第三章 水文循环	34
第一节 水的奇异物理性质	34
第二节 地球系统中水的储量	36
第三节 水文循环现象及意义	38
第四节 水量平衡	42
第五节 水文循环的现有结论	47
第四章 降水	48
第一节 降水特征及其时空变化的表示	48
第二节 降雨分类及其影响因素	54
第三节 区域(流域)平均降雨深的确定	58
第四节 雷达测雨	61
第五章 土壤水	64
第一节 土壤的质地、结构及三相关系	64
第二节 土壤水的存在形态	69
第三节 土壤水的能量状态	76
第四节 土壤水运动的控制方程	81
第六章 下渗	86
第一节 基本概念	86
第二节 非饱和下渗理论	91
第三节 饱和下渗理论	97
第四节 经验下渗曲线	99

第五节	降雨过程中的下渗	102
第六节	下渗后的土壤水分再分布	105
第七章	蒸发与散发	108
第一节	基本概念	108
第二节	水面蒸发	111
第三节	土壤蒸发	117
第四节	植物散发	122
第五节	流域蒸发	124
第八章	产流机制和流域产流	126
第一节	包气带及其结构	126
第二节	包气带对降雨的再分配作用	127
第三节	径流产生的物理条件	131
第四节	流域产流的基本模式	140
第五节	产流面积的变化	145
第六节	流域产流量的计算	150
第九章	地下水流	157
第一节	含水层类型	157
第二节	含水层的水文特征	158
第三节	地下水运动的控制方程	160
第四节	地下水与地表水的关系	166
第十章	洪水波运动及洪水演算	172
第一节	洪水波的形成及其基本特征	172
第二节	洪水波运动的数学描述	178
第三节	洪水波分类及运动波和扩散波	184
第四节	槽蓄理论及槽蓄方程	193
第五节	洪水演算预备知识	204
第六节	特征河长连续演算法	215
第七节	线性扩散波演算法	221
第十一章	流域汇流	230
第一节	流域汇流现象及流域汇流曲线	230
第二节	流域汇流线性系统分析	234
第三节	流域汇流的物理分析	242
第四节	流域汇流的调蓄分析	250
第五节	地下水流域汇流	259
第六节	流域汇流的非线性问题	262

第七节 流域退水及流域退水规律	268
第十二章 冰雪水文	272
第一节 积雪	272
第二节 融雪径流	277
第三节 冰川的形成及运动	281
第四节 冰川的积累与消融	286
第五节 冰川径流	289
第六节 河流冰情	292
参考文献	306
告别讲台的感言	312

第一章 绪 论

“绪论”一词中的“绪”由两部分组成，左边是“丝”，“蚕丝”的“丝”，右边是“者”，“开头”的意思。所以，“绪”意味着“蚕丝的开头”，用来比喻事物的开头，“绪论”即开头之论，就是一本书的开头，或者是一门课程的开头。在“水文学原理”课程的开头应该说些什么呢？一是介绍水文学的定义及其作用和地位；二是介绍水文学的分支学科；三是介绍“水文学原理”课程的主要学习方法。

第一节 水文学的定义

现在比较公认的水文学定义可表述为：水文学是一门研究地球系统中水的来源、运动、循环，水的时间变化和空间分布，水与生态环境的相互作用，以及水的社会属性，为水旱灾害防治、水资源合理开发利用、水环境保护和生态系统修复提供科学依据的学科。这个定义包含了三层意思：一是水文学要研究自然界水的来源、水的运动、水的循环、水的时间变化和空间分布，以及水与生态环境的相互作用，即水的自然属性；二是水文学要研究水与人类社会的相互关系，即水与社会发展的关系，也就是水的社会属性；三是水文学还要为治理洪涝灾害、开发利用水资源、保护水环境、修复水生态系统等人类十分需要的事业提供科学依据。可见水文学是一门比较复杂的学科，它不仅具有自然科学和技术科学的特点，而且具有社会科学的一些元素。

上述水文学定义的形成有着一个较长的历史过程，这个过程就体现了水文学的发展历程。事实上，大体形成于20世纪90年代的上述水文学定义与早期给出的水文学定义有一定的区别。第一个公认的水文学定义出现在1964年，由美国水文学家 Ven Te Chow 给出，他在 Handbook of Applied Hydrology 一书中写道：水文学是一门研究地球上水的来源、循环和分布，水的化学和物理性质以及水与包括生命在内的环境之间的相互作用的学科。这个定义与上述水文学定义前半部分是相似的，但后半部分却是有区别的。造成这种区别的原因是进入20世纪70年代后，世界人口大幅增加，社会经济发展更快，这样就出现了一些新的水问题，例如水资源短缺、洪涝灾害加剧、水环境污染、水生态系统破坏等，水文学不能仅停留在研究自然界水的规律这一个层面上，而应该为社会经济的发展作出贡献。在这种需求下，水文学就很快地与技术科学和社会科

学相互交叉、渗透，从而逐步总结出开始所讲的水文学定义。

尽管世界上第一个公认的水文学定义于 1964 年才提出，但水文学作为一门学科早在 1674 年就诞生了，这一年在水文学历史上出现了一个事件。法国水文学家 Perreault 在研究法国塞纳河流域的年径流量与年降雨量的关系时得出，塞纳河流域的年径流量等于年降雨量的 $1/6$ 。这个概念虽然简单，但在三个多世纪之前，人们有这样的定量认识，应该说的不容易了，所以，国际水文学术界把这一年定为水文学学科的开始。

与一些相关学科比较，水文学在相当长的时期内发展并不很快。众所周知，地球系统是由大气圈、岩石圈、水圈和生物圈组成。研究大气圈的学科叫气象学或大气科学，研究岩石圈的学科叫地质学，研究生物圈的学科叫生物学，它们的发展都比水文学快。海洋学和水文学是研究水圈的姊妹学科，水文学的发展也不如海洋学发展快。但是，近半个世纪以来，水文学却有了突飞猛进的发展。为什么会出现这样的情况？就是因为水文学的作用越来越重要。首先，水资源是人类生存和发展不可替代的自然资源，是一个制约因素。其次，由水引发的洪涝、干旱等自然灾害已成为困扰地球上人类生存的最重要的自然灾害。联合国做过统计，在世界范围里，由水引发的自然灾害造成的损失，占到整个自然灾害损失的 55%，其中洪涝灾害占 40%，干旱灾害占 15%。防治水造成的自然灾害始终是摆在人类面前的迫切任务。第三，环境污染已成为当今社会一个很突出的问题，其中水污染问题尤为突出。

在 20 世纪 80 年代之前，说到水文学的作用和地位时，经常用的是这样一句话：“水文是水利的尖兵，是防汛抗旱的耳目。”意思是说，水文在水利建设和防治水旱灾害中扮演着重要角色。但在 20 世纪 80 年代之后，就渐渐变成另外一句话：“水资源的可持续利用保障社会经济的可持续发展，水文学是水资源可持续利用的科学基础。”这就表明，水文学不只是为水利服务，它的服务对象已扩展至整个社会经济的发展，而且起着保障的作用。

第二节 水文学的分支学科

从上述水文学定义看，水文学的研究领域涉及自然科学和社会科学。水文学发展到今天已形成了一个庞大的学科体系。对于这样一个庞大的学科体系，该怎样进行研究？科学家的办法不是一门一门地去研究，而是对这个庞大的体系进行科学的分类，然后按照类别进行研究。所以，如何进行学科分类常常是科学研究中非常重要的一件事。分类要根据一定的原则，分类的原则不同，分类的结果也有所差别。

(1) 按学科属性分类

按学科的属性,水文学可以分成四个板块(图 1-1)。一是水文学属于自然科学的那一部分,叫理论水文学或者水文学原理,其任务是把自然界的水文现象作为科学对象来进行研究,注重探索各种水文现象的规律。二是水文学属于社会科学的那一部分。因为水是人类赖以生存和不可替代的资源,没有水就没有生命,因此在通过技术手段用好水资源的同时,还必须通过法律手段、经济手段来用好、管理好水资源,这样就产生水法和水经济等一些社会科学的分支学科。三是水文学属于技术科学的那一部分。人们修大坝,首先要决定大坝的规模:如果是为防洪,那么就要回答防御多大的洪水;如果是为发电,那么就要回答装机容量是多少……这些问题的解决都离不开对水文规律的了解和运用,这样就产生了应用水文学、技术水文学等。四是水文学属于管理科学的那一部分。管理学涉及方方面面,水文是一种事业,水利也是一种事业,需要管理。水管理学就是管理学和水文学交叉的一门学科。

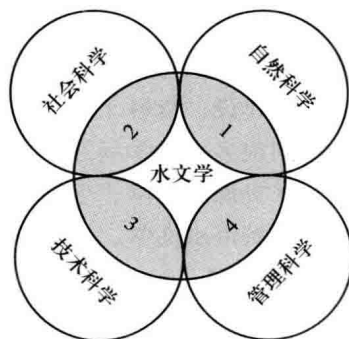


图 1-1 按学科属性分类

1—理论水文学或水文学原理;
2—水法、水经济; 3—应用水文学、技术水文学; 4—水管理

(2) 按水体分类

所谓水体,就是地球上能够储存水的空间。河流、湖泊、水库、地下含水层、冰川、湿地、河口海岸带、大气层等都是水体。如图 1-2 所示,研究河流里水文现象规律的叫作河流水文学。研究湖泊水库里水文现象规律的叫作湖泊水文学。研究湿地、地下含水层、冰川、大气层里水文现象规律的分别叫作湿地水文学、地下水水文学、冰川水文学、水文气象学。地球上还有一些综合性的蓄水体,譬如可以把整个地球看作一个水体,研究全球水文现象规律的叫全球水文学或者大尺度水文学。流域也是一个综合性的水体,研究流域水文现象规律的叫流域水文学。河口海岸带是一个比较特殊的水体,研究河口海岸带水文现象规律的叫河口海岸水文学。

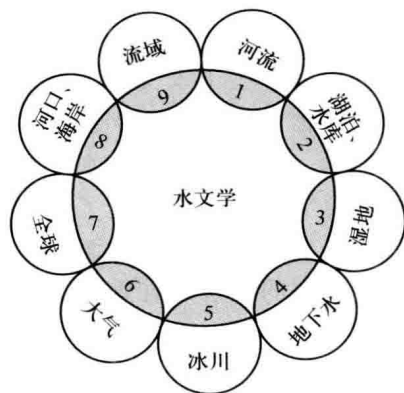


图 1-2 按研究水体分类

1—河流水文学; 2—湖泊水文学;
3—湿地水文学; 4—地下水水文学;
5—冰川水文学; 6—水文气象学;
7—全球水文学(大尺度水文学);
8—河口海岸水文学; 9—流域水文学

(3) 按应用分类

在水利工程和涉水的土木工程中，都或多或少需要了解和运用有关的水文基本规律，这就形成了一门很有实用价值的水文学分支，叫作工程水文学。在水资源利用、生态系统研究、环境保护工程、城市建设、森林工程、农业工程中也会遇到很多水文学问题，因此，就分别形成了水资源水文学、生态水文学、环境水文学、城市水文学、森林水文学、农业水文学等(图1-3)。

(4) 按学科交叉或研究方法分类

水文学比较容易与很多学科交叉，许多学科的研究方法和研究思路都会在水文学中得到反映，所以就形成了很多交叉学科(图1-4)。动力水文学是用动力学的思想方法和定律揭示水文现象规律的水文学分支学科。如果把系统分析方法引进来解决水文科学问题，就产生了系统水文学。如果用非线性科学方法处理水文科学问题，就产生了非线性水文学。计算机技术和经典的水文学相结合就产生了计算水文学。用概率论和随机过程的思维方式来揭示水文现象的规律产生了随机水文学，而用数理统计方法来分析水文现象的一些规律就产生了水文统计学。信息科学对人类的发展产生了深远的影响，如果用信息科学的数字化技术和解决问题的思路来解决水文学中一些规律性问题，就产生了数字水文学。如果用地理学的一些思维研究方式来解决水文科学问题，就产生了地理水文学，也叫水文地理学。自然界里的水文过程是大气过程和下垫面过程相互作用的产物，因此揭示地貌过程与水文过程之间的关系是有重要意义的，这就导致了地貌水文学的产生。水文学需要累积资料，而这些资料都要通过一定的测量技术或实验手段得到，水文学与测量技术的结合就产生了水文测验学。通过野外或室内实验方法获得揭示水文规律的信息的学科称为实验水文学。为了了解一场降雨形成的径流中哪些是地面径流，哪些是地下径流，可以用环境同位素方法来进行测试，在历史洪水调查中，为了确定调查到的洪痕所发生的年代，可以用放射性同位素技术来进行测试，这样，在水文学分支学科中就出现了一个新成员——同位素水文学。

可见，要学好具有庞大学科体系的水文学，必须具备良好的多学科基础，

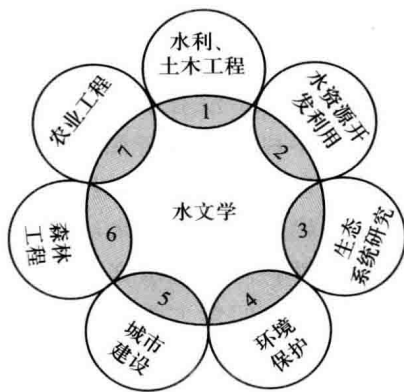


图 1-3 按应用分类

- 1—工程水文学；2—水资源水文学；
3—生态水文学；4—环境水文学；
5—城市水文学；6—森林水文学；
7—农业水文学

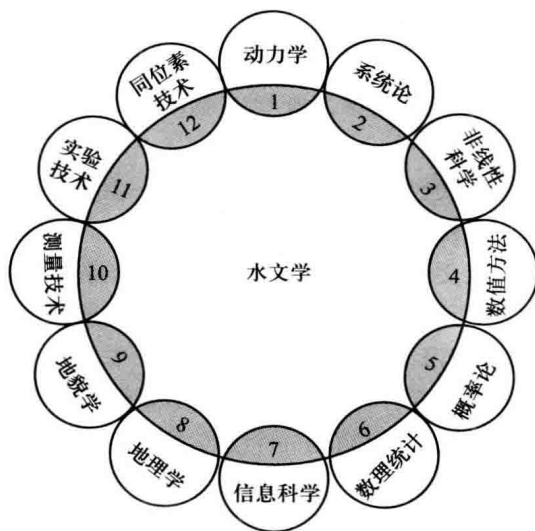


图 1-4 按交叉学科或研究方法分类

- 1—动力水文学；2—系统水文学；3—非线性水文学；4—计算水文学；5—随机水文学；
6—水文统计学；7—数字水文学；8—地理水文学；9—地貌水文学；
10—水文测验学；11—实验水文学；12—同位素水文学

在大学本科期间要打好数学基础、物理基础、化学基础、地质学基础、地理学基础、生态学基础、测量学基础等。

本书作为大学本科水文学原理课程的教材，相对于水文学这个庞大学科体系来说，内容不是多了，而是少了。随着研究的深入，读者会感觉到自己需要的东西越来越多，这就是所谓“活到老，学到老”！

第三节 学习方法的建议

水文学原理课程主要讲述水文过程的物理概念、基本规律，以及计算方法的基本原理。许多水文学分支学科的基本理论都与水文学原理有密切联系，因此，学好水文学原理，就会给今后学习水文与水资源工程专业的其他课程，或者将来从事实际工作，带来很多方便。

使学生将水文学原理中最重要、最基本、可能会影响到今后一辈子的内容学好、学深、学透，就是水文学原理课程追求的教学目标。

学习水文学原理的方法，大致可归纳成六点：

① 要认真听课、记笔记。将教师讲课的重点、难点和前人的科学思维过程系统也记录下来。这是最基本的学习方法。

② 水文学原理课程是一门物理概念比较多的课程，每一章节讲的都是自

然界里的一个现象，要理解这些现象，就会涉及很多物理概念。对于物理概念的理解，常常可以通过前人的概括总结、老师的讲解、自己动手做实验、必要的理论推导和演算等来不断加深，既要在物理上下功夫，也要在数学上下功夫。

③ 在学习过程中，要注意归纳总结。往往一堂课下来，老师讲了很多，因此如何把所讲内容中最基本、最重要的知识归纳出来就显得很重要。

④ 要做好作业。水文学原理课程有一定数量的课外作业，一定要认真做好这些作业，它对理解所学理论好处多多。不要为完成任务而做作业，要把做作业与巩固、加深理论学习结合起来。

⑤ 要博览群书。古人云：“开卷有益。”不要局限于教科书和老师所讲内容。大学有很好的图书馆，图书馆是一个大学的重要资源，所以，到大学里来学习，如果不享受图书馆，那是一件很遗憾的事！

⑥ 课堂是教师与学生之间人格和学问交流的平台，所以在听课时，要多动脑筋，多跟教师互动。教师讲得好的地方，要把它记录下来；教师没有讲清楚或是讲得不对的地方，要随时进行讨论交流。

第二章 流域及水系

水文现象的发生、发展与流域、水系有着密切的关系，因此，首先建立流域及水系的概念十分必要。

第一节 基本概念

一、分水线和集水线

分水线是指山峰、山脊和鞍部的连接线。如果要作出分水线，那么就必须解决如何识别山峰、山脊和鞍部的问题。归纳起来，有两种识别办法，一是到现场去察看，山峰就是山的最高部位，山脊就是由山峰沿坡垂直而下的那些线。鞍部就是两个山峰之间形如马鞍的那部分区域。但一个流域的范围往往是很大的，这么大的范围如何到现场去察看呢？二是在地形图上识别。地形图是标注了等高线和地物的地图。有了地形图，也能达到识别山峰、山脊和鞍部的目的(图2-1)。地形图上的等高线是由地面高程相同的点连成的线。山峰就是等高线图的极大点。山脊是从山峰开始所作的等高线的垂直线。鞍部是两端高、中间凹的区域，像骑马用的马鞍。现实可行的方法是：利用地形图识别山峰、山脊和鞍部，通过到现场察看作必要的修正。

为什么把山峰、山脊和鞍部的连接线叫作分水线呢？这是因为降落在这条线这边的雨水只可能向这边汇集，降落在这条线那边的雨水只能向那边汇集，这条线起了分水的作用，顾名思义称之为分水线。说得确切些，这样得到的分水线是地面分水线，但一般不必加上“地面”二字。其实，地下水也存在分水线。不透水基岩一般也是不平坦的，高高低低。地下分水线就是不透水基岩的峰、脊和鞍的连接线。由于存在土壤覆盖，地下分水线是隐蔽的。下渗到地下分水线这边的水只能往这边流动，下渗到地下分水线那边的水只能往那边流动。但在水文学中，如果没有特别说明，“分水线”一般就是指地面分水线。如果指的是地下分水线，那么就需要加“地下”二字。

与分水线对应的是集水线。集水线是地形等高线中两边较高，中间较低的凹槽线(图2-1)，它总是位于相邻两条分水线之间。降落在集水线两边的雨水都要向凹槽汇集。虽然河流只会在集水线经过的地方形成，但集水线不一定都成为河流。

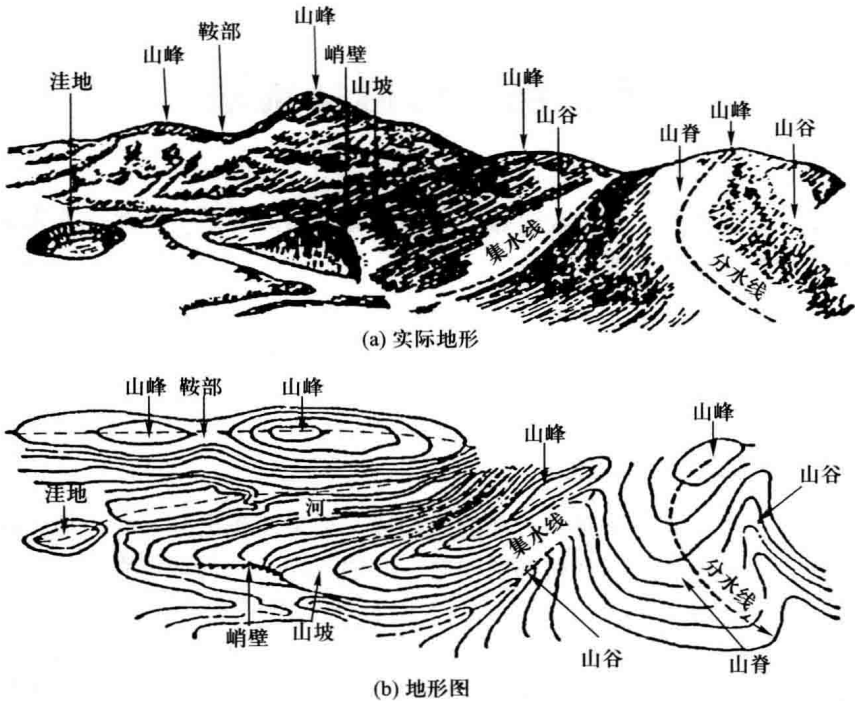


图 2-1 山峰、山脊、鞍部、分水线和集水线

二、流域和流域面积

流域是指地面分水线包围的、能够汇集雨水从其出口流出的区域。降落在流域上的雨水不可能经由地面汇集到分水线以外的地方，而只能在流域内汇集，最后通过流域出口断面流出。流域是水文学研究的基础空间单元。根据地面分水线与地下分水线之间的关系（图 2-2）和河流河槽的切割深度（图 2-3），可将流域分为闭合流域和非闭合流域。地面分水线与地下分水线重合，且河槽切割至不透水基岩的流域称为闭合流域。地面与地下分水线不重合或者河槽切割不能到达不透水基岩的流域称为非闭合流域。对于图 2-2a 和图 2-3a 所示的情况，降落到流域的雨水，无论在地面还是渗透到地下都在流域内汇集，除流域出口断面外跟周围不进行任何水量交换。对于图 2-2b 和图 2-3b 所示的情况，降落到流域的雨水，其地面部分虽在该流域内汇集，但渗透到地下的那部分却有一部分会从流域周边流出，流域内与流域外存在除流域出口断面以外的地下水量交换。要判断一个流域是否闭合，严格来讲，必须通过水文地质勘探，打很多钻井，然后分析地下情况，才能做出判断。但这样不仅工作量巨大，而且花费也很大，几乎是不可能的。分析表明，地面和地下分